



AQUAREL

Réutilisation des eaux issues du lait

Juin 2018

Brice Bourbon

ACTALIA

b.bourbon@actalia.eu / 05 46 27 69 82

Les informations contenues dans cette publication ont été obtenues dans le cadre d'un Projet de recherche initié par le CNIEL, mené conjointement avec ACTALIA, grâce au soutien financier du CNIEL et des Agences de l'Eau Seine-Normandie et Loire-Bretagne.



Remerciements

Le CNIEL, les agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie et ACTALIA souhaitent remercier tous les transformateurs laitiers qui ont accepté de participer à l'enquête menée au début de ce projet et aux études de cas.

Les quatre structures remercient également les équipementiers suivants qui ont apporté leur expertise concernant les traitements applicables aux eaux issues du lait en vue de leur réutilisation sur site :

- BWT (contact : Mickaël Tournaux - Ingénieur Grands Comptes Agroalimentaire)
- NALCO WATER (contact : Patrice Herve - Ingénieur Développement Industriel)
- UV RER - ANEMO (contact : Kamal Rekab - Responsable R&D)
- CIFEC (contact : David Mariet - Ingénieur Technico-Commercial)
- IMECA PROCESS (contact : Gauthier Poudevigne - Directeur d'IMECA Process)

Table des matières

Introduction	1
1. Les eaux issues du lait	2
1.1 Origines	2
1.2 Flux et composition	3
1.2.1 - Flux	3
1.2.2 - Composition	4
2. Réutilisation actuelle des eaux issues du lait	8
3. Technologies de traitement associées à la réutilisation..	10
3.1 Exemples de traitements appliqués	10
3.2 Traitements appliqués au sein des sites de transformation français	12
3.3 Filières de traitement identifiées durant le projet AQUAREL	13
3.3.1 - Filière ultrafiltration + osmose inverse + désinfection	13
3.3.1.a - Caractéristiques	13
3.3.1.b - Etude de cas	16
3.3.2 - Filière filtres à sable et à charbon + désinfection	18
3.3.2.a - Caractéristiques	18
3.3.2.b - Qualité de l'eau en sortie de filière en fonction de la qualité de l'eau en entrée	18
3.3.2.c - Fonctionnement et entretien	19
3.3.2.d - Etude de cas	19
Conclusion	22
Bibliographie	23



Introduction

Dans un contexte de changement climatique et d'appauvrissement de la ressource en eau, la gestion de cette dernière au sein des industries agro-alimentaires doit faire l'objet d'une révision. En effet, celles-ci sont de grandes consommatrices d'eau potable et les sites de transformation laitière ne font pas exception. La plupart des transformateurs laitiers ont mis en place des solutions de réutilisation pour les eaux issues des unités de Nettoyage En Place (NEP), mais certaines sources d'eau restent peu exploitées.

Parmi elles figurent les eaux issues du lait qui sont des eaux directement issues de la matière première. Elles sont obtenues durant des phases de concentration du lait et du lactosérum obtenu en fromagerie qui ont lieu, notamment, lors de la fabrication de poudres. Peu chargées organiquement, elles font l'objet d'une réutilisation pour le nettoyage extérieur des véhicules et sont également réutilisées, après un traitement adapté, pour l'alimentation des chaudières et circuits de refroidissement. Une grande partie du flux de ces eaux rejoint néanmoins la station d'épuration ou le réseau d'eaux pluviales lorsque les seuils de rejet dans le milieu naturel sont respectés.

Si certaines pratiques de réutilisation ne sont pas développées en France en raison d'un flou réglementaire concernant ces eaux (elles ne sont justement pas considérées comme des eaux car elles ne sont pas issues du milieu naturel), certains pays n'ont pas hésité à sélectionner de nouveaux usages de celles-ci grâce à la mise en place de technologies et de filières de traitement permettant d'obtenir les qualités d'eau recherchées.

Dans le but de faire avancer les recherches sur ce sujet au niveau national, le CNIEL, soutenu financièrement par les agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie, a lancé en 2015 le projet AQUAREL. Son principal objectif est de guider les transformateurs laitiers voulant mettre en place des projets de réutilisation d'eau dans leur choix de technologies de traitement adaptées. Mais il a également pour but de mettre à la disposition du secteur laitier des premiers éléments techniques, sanitaires et économiques qui pourront être présentés aux autorités compétentes afin de faire évoluer l'application de la réglementation sur la réutilisation de l'eau en France.

Edité dans le cadre de ce projet, ce document reprend les principaux enseignements techniques qui en découlent. La description des eaux issues du lait (origines, flux, composition) est au cœur de la première partie. Leur réutilisation actuelle en transformation laitière fait l'objet de la seconde partie de ce document tandis que les technologies de traitement permettant une meilleure valorisation de ces eaux sont explicitées dans une troisième partie. Les informations et données présentées dans ce document sont classées selon deux niveaux : (i) informations tirées de publications scientifiques et d'articles de presse spécialisée et (ii) informations obtenues lors de l'enquête réalisée auprès des transformateurs et lors d'échanges avec les équipementiers en traitement de l'eau.

1. Les eaux issues du lait

1.1 Origines

Le lait est constitué d'environ 88% d'eau. Les 12% d'extrait sec sont composés de 38% de lactose, de 30% de matière grasse, de 25% de matière azotée et de 7% de minéraux auxquels s'ajoutent des vitamines et des enzymes (Gésan-Guiziou, 2007). Le lactosérum est quant à lui constitué de 94% d'eau et la composition de sa matière sèche diffère selon son caractère acide ou doux (Decloux et Rémond, 2009). Lors de la transformation, notamment en poudres, de ces matières premières que sont le lait, le lactosérum et le babeurre, un important flux d'eaux appelées eaux issues du lait est récupéré. Celles-ci sont générées à l'issue de deux opérations unitaires : la concentration sur support membranaire et l'évapo-concentration.

Lors de l'étape de concentration sur support membranaire, les eaux issues du lait constituent le perméat obtenu suite au passage du lait, du lactosérum ou du babeurre à travers un ou deux modules de filtration (figure 1), ces derniers pouvant être des modules de nanofiltration ou d'osmose inverse (Daufin et al., 2001). Cette opération permet en général de faire passer la teneur en extrait sec des produits de 6 ou 12% à 18%. En ce qui concerne le lactosérum, l'osmose inverse peut conduire à l'obtention d'une teneur en extrait sec de 27% (Gésan-Guiziou, 2007).

Lors de l'étape d'évapo-concentration qui consiste à faire augmenter le taux de matières sèches présentes dans le lait jusqu'à 50% (Sloth et al., 1990), les eaux issues du lait sont récupérées sous forme de condensats (figure 1 et figure 2). Ce sont ces eaux qui sont en priorité définies par l'expression COW water puisque leur appellation anglaise est **Condensate Of Whey**.

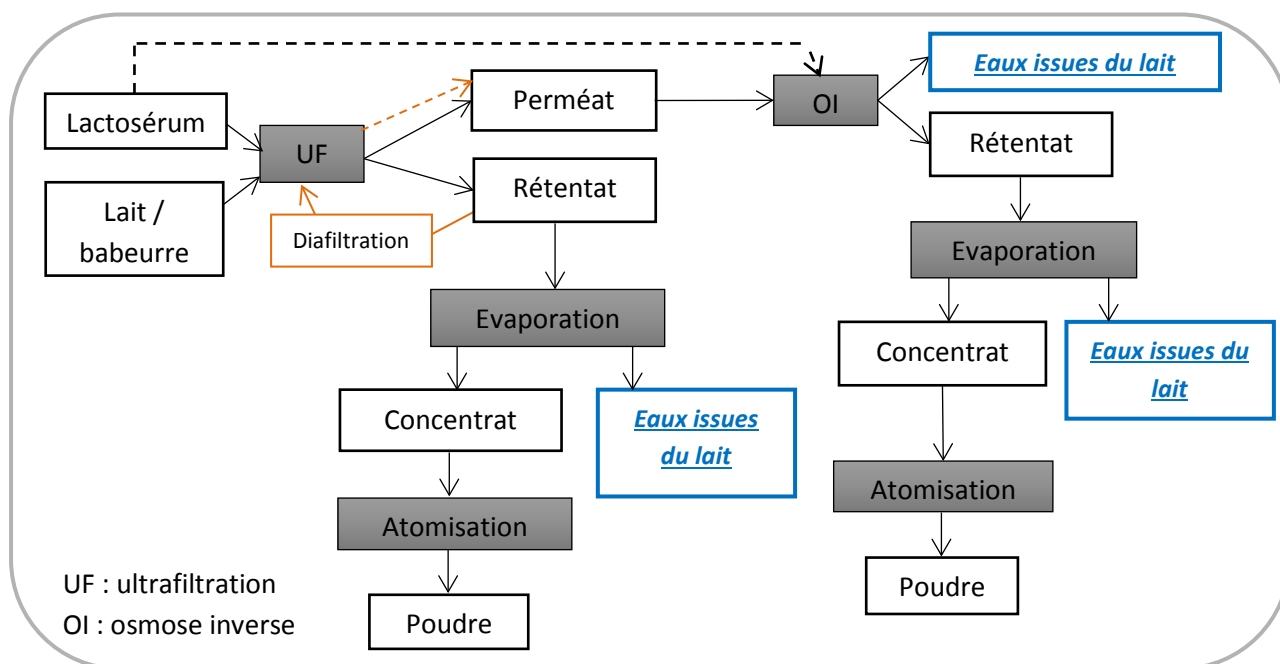


Figure 1 : Illustration simplifiée d'une filière de fabrication de produits laitiers en poudre

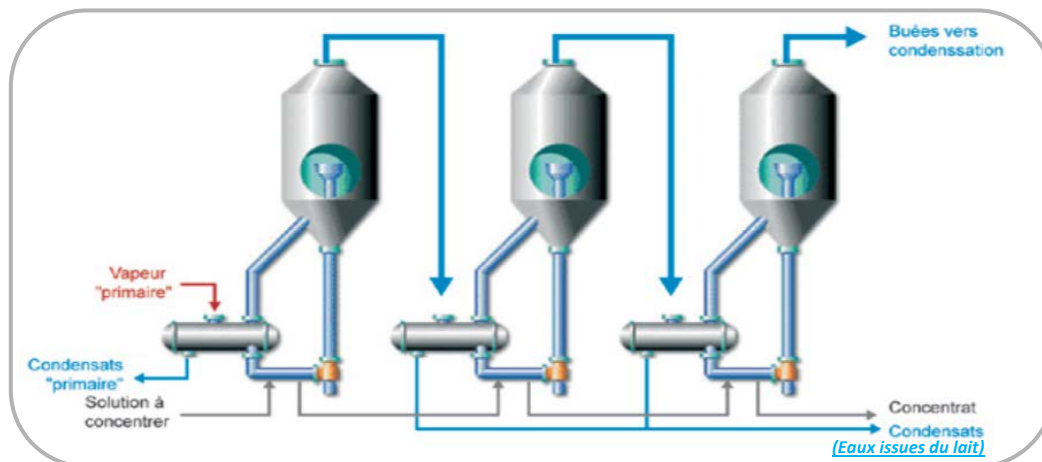


Figure 2 : Production d'eaux issues du lait dans un évapo-concentrateur à multiples effets
(Source : SPW, 2008)

1.2 Flux et composition

1.2.1 - Flux

La quantité produite d'eaux issues du lait est dépendante de la nature, de la quantité de matière première entrant au niveau des process de concentration et d'évapo-concentration et de la teneur en extrait sec que l'on souhaite atteindre.

Dans le cas d'une étape de concentration par osmose inverse, il est possible d'obtenir un flux de perméat de 9000 litres par heure si le flux de lactosérum à concentrer de 6 à 24% d'extrait sec est de 240 000 litres par jour soit 12 000 litres par heure lorsque le temps de fonctionnement de l'installation est de vingt heures (Fraisie, 1991). Ainsi la récupération d'eau est de l'ordre de 75%. Une autre étude menée sur la filtration par osmose inverse de solutions contenant une quantité de matière sèche proche de celle du lactosérum, signale que le pourcentage d'eau récupérée peut atteindre 95% (Vourch et al., 2008).

Dans le cas d'une étape d'évapo-concentration sans pré-concentration, les flux d'eaux issues du lait sont également importants. L'évapo-concentration de dix tonnes de lait écrémé à 9% d'extrait sec jusqu'à une teneur de 50% de matière sèche produit 8200 kilogrammes d'eau soit 90,1% de la masse initiale (Fraisie, 1991). Si ces dix tonnes sont traitées sur vingt heures, cela signifie que le flux d'eau d'eaux issues du lait est de 410 kilogrammes par heure. Les deux technologies, osmose inverse et évapo-concentrateur, peuvent être couplées. Dans ce cas, la récupération d'eau peut atteindre environ 97% (Fraisie, 1991).

Les eaux issues du lait sont donc générées en très grande quantité sur les sites de transformation laitière. De ce fait elles représentent une part non négligeable des effluents lorsqu'elles ne sont pas réutilisées et constituent un apport volumique important pour la station d'épuration. De l'eau passe également dans la phase gaz lors de l'étape de séchage qui consiste à faire passer la teneur en extrait sec du concentrat de 50 à 96% de matière sèche (Sloth et al., 1990).

A l'heure actuelle, celle-ci n'est pas récupérée car d'un point de vue technique cela n'est pas rentable.

Enseignements de l'enquête AQUAREL auprès des transformateurs laitiers

Les principaux sites de transformation qui produisent des eaux issues du lait sont les sites multi-activités qui ont une activité poudres et les sites spécialisés dans la production celles-ci. Selon l'importance du site, les tonnages produits peuvent être plus ou moins importants (tableau 1)

Tableau 1 : Volumes d'eaux issues du lait produits dans un panel de sites français

Type de site	Volumes d'eaux issues du lait produits (m ³) Moyenne [Intervalle]
Site multi-activités avec une activité poudres	269 000 [29 000 - 710 000]
Site de production de poudres	145 000 [50 000 - 365 000]

1.2.2 - Composition

En comparaison avec les autres effluents produits par un site de transformation laitière, les eaux issues du lait présentent une charge organique plus faible. Leur composition dépend cependant du produit et de l'étape unitaire dont elles sont issues.

Les eaux issues du lait existantes sous forme de condensats issus de la fabrication de poudre de lait et de poudre de sérum présentent des caractéristiques physico-chimiques similaires. Leur pH oscille entre 5 et 8,5 et leur conductivité varie entre quelques unités à quelques centaines de microsiemens par centimètre. Leur pollution organique (DCO, DBO₅ et COT)¹ est également variable, allant de quelques unités à quelques centaines de milligrammes par litre. Les perméats de lactosérum doux qui constituent un autre type d'eaux issues du lait, présentent une conductivité un peu plus élevée et contiennent un peu plus d'éléments organiques que les condensats. Les perméats de lactosérum acide sont, quant à eux, les eaux issues du lait les plus concentrées en pollution organique et les plus minéralisées (tableau 2) en raison de la teneur plus importante en calcium du produit initial. En effet, le calcium représente environ 2% de l'extrait sec dans le cas d'un lactosérum acide tandis qu'il n'en représente que 0,65% pour le lactosérum doux (Sottiez, 1990).

¹ DCO : Demande Chimique en Oxygène
DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours
COT : Carbone Organique Total

Tableau 2 : Composition de différentes eaux issues du lait

	Nature des eaux issues du lait					
	Perméat de lactosérum acide	Perméat de lactosérum doux	Condensat (évapo-concentration du lait)			Condensat (évapo-concentration du lactosérum)
pH	4,5 – 5,0	5,0 – 6,0	5,0 – 8,0	4,1 – 8,5	4,1 – 8,5	5,0 – 8,0
Conductivité (µS/cm)	5000 - 8000	200 – 500	5 - 50	6 - 190	6 - 190	20 - 150
DCO (mgO₂/L)	6000 - 10000	100 - 400	20 - 100	2 - 720	5 - 45	50 - 300
COT (mg/L)	ND	ND	ND	0,6 - 190	1,6 - 10	ND
DBO₅ (mgO₂/L)	3000 - 6000	50 - 200	5 - 70	ND	ND	30 - 200
Lactose (%)	0,02 – 0,2	trace	trace	ND	ND	trace
Acide lactique (%)	0,02 – 0,05	0,01 – 0,02	trace	ND	ND	trace
Calcium (mg/L)	ND	ND	ND	0,4 -1,5	0,4 - 1	ND
Température (°C)	ND	ND	ND	45 - 55	ND	ND
Sources	a	a	a	b	c	a

ND : données non disponibles a : Wojdalski et al., 2013 b : Chmiel et al., 2000 c : Mavrov et Bélières, 2000

Pour les condensats, l'étendue de la plage de valeurs des paramètres de pollution organique s'explique par le fait que les eaux issues du lait deviennent de plus en plus chargées au fur et à mesure qu'elles sont produites dans les évaporateurs à multiples effets. Une partie de la vapeur issue du premier effet sert à chauffer le produit contenu dans le second et l'autre partie est condensée pour donner l'eau de concentration. Cette opération se répète d'effet en effet et conduit à l'obtention d'eaux issues du lait plus chargées en même temps que le produit se concentre.

D'autres études qui portaient plus particulièrement sur les eaux issues du lait obtenues lors de la fabrication de produits laitiers en poudre, ont montré que leur composition variait également selon le type de matière première utilisée. Des analyses plus détaillées ont mis en évidence la présence d'azote Kjeldahl (NTK) et de composés organiques (éthanol, acétone et acétoïne) dans les condensats obtenus (tableau 3).

Tableau 3 : Composition d'eaux issues du lait produites lors de l'évapo-concentration pour la fabrication de poudres (Source : Vourch et al., 2008)

Paramètres	Unités	Produits à l'origine des condensats				
		Lait écrémé (échantillon 1)	Lait écrémé (échantillon 2)	Lait entier (échantillon 1)	Lait entier (échantillon 2)	Lactosérum
Conductivité	μS/cm	4	18	9	15	101
MES ²	mg/L	3	< 2	2	3	3
NTK	mg/L	0,3	2,1	1,5	1,8	7,2
DCO	mgO ₂ /L	< 15	24	< 15	40	30
COT	mg/L	0,7	3,7	1,3	3,3	11
Lactose	mg/L	< 3	< 3	< 3	< 3	9,9
Lactate	mg/L	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Ethanol	μg/L	130	4430	< 50	760	2190
Acétone	μg/L	< 50	240	< 50	1650	525
Acétoïne	μg/L	120	120	1120	160	700

Enseignements de l'enquête AQUAREL auprès des transformateurs laitiers

Des analyses réalisées sur divers échantillons d'eaux issues du lait non traitées et issues de cinq sites de transformation ont permis de récolter de nouvelles données sur les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de celles-ci (tableau 4).

Les résultats montrent que la quantité de matière organique présente dans les eaux issues du lait varie assez largement. La différence de matière première à l'origine de ces eaux n'est pas une des principales raisons de ces observations. Cela est également dû à la configuration des évapo-concentrateurs qui n'ont parfois pas permis de séparer les différents effets pour une caractérisation la plus juste possible. Le paramètre qu'il convient d'étudier en priorité est le carbone organique total (COT). Sa valeur dépasse clairement la valeur de référence requise pour l'eau potable. Ainsi, pour envisager une réutilisation des eaux issues du lait dans des usages en remplacement de l'eau potable, il convient de réduire cette charge organique.

La teneur en chlorites dans ces eaux est également importante. Une première hypothèse peut être formulée pour expliquer cela : la présence d'ions chlorites sur les surfaces en contact avec le produit due au rinçage de ces dernières par de l'eau chlorée.

² MES : Matières En Suspension

Enseignements de l'enquête AQUAREL auprès des transformateurs laitiers (suite de l'encadré précédent)

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux issues du lait non traitées recueillies durant le projet

Paramètres	Unités	Produit à l'origine des condensats		Valeur Eau potable
		Lait et produits apparentés (perméat de lait, recette avec du lait)	Sérum	
pH terrain	unité pH	Moy : 6,6 [Min ; Max] : [5,5 ; 8,1]	7,4 [5,5 ; 9,1]	≥ 6,5 et ≤ 9
Température terrain	°C	49,0 [31,2 ; 59,8]	41,3 [18,7 ; 60,5]	25
Conductivité	μS/cm	9,8 [4,0 ; 21]	22,8 [6,00 ; 33,0]	≥ 180 et ≤ 1000 à 20°C ≥ 200 et ≤ 1100 à 25°C
MES	mg/L	<2 (limite de détection)	<2 (limite de détection)	/
NTK	mg/L	0,74 [<0,50 ; 1,7]	3,1 [<2 ; 5,2]	/
DCO	mgO ₂ /L	25,3 [5,80 ; 63,0]	56,5 [17,0 ; 98,0]	/
DBO ₅	mgO ₂ /L	12,2 [2,10 ; 37,0]	25,5 [1,3 ; 80]	/
COT	mg/L	9,9 [4,2 ; 23]	14,4 [5,20 ; 27,0]	2,0 et aucun changement anormal
Ammonium	mg/L	0,50 [0,21 ; 0,77]	2,9 [0,38 ; 5,3]	0,10
Chlorates	μg/L	<12,5 (limite de détection)	<12,5 (limite de détection)	/
Chlorites	μg/L	292 [85,0 ; 410]	330 [220 ; 530]	200

2. Réutilisation actuelle des eaux issues du lait

Dans beaucoup de sites laitiers à travers le monde, les eaux issues du lait font l'objet d'une réutilisation plus ou moins développée. Brutes, elles peuvent servir pour le lavage extérieur des camions citernes ou encore comme eaux de premier rinçage de l'unité de NEP (CE, 2006). Avec des traitements adéquats, elles peuvent également servir d'eau d'appoint de chaudières (Chmiel et al., 2000). Ces usages sont exclusivement des usages hors contact alimentaire mais certains sites de transformation vont plus loin dans la réutilisation des eaux issues du lait.

En 2013, l'usine de FrieslandCampina à Aalter (Belgique) a mis en place une filière de traitement qui lui permet de valoriser ses eaux issues du lait en eaux pour les chaudières et en eaux pour l'unité de NEP avec la particularité de finaliser le rinçage des équipements avec ces eaux traitées (AQUARAMA, 2014). Aux Etats-Unis, la pratique est également courante et une entreprise laitière située au Royaume-Uni ne consomme plus l'eau du réseau grâce à la mise en place de technologies lui permettant de réutiliser la globalité de ses eaux issues du lait (ASUOE, 2012).

En 2006, le document de référence sur les Meilleures Techniques Disponibles (le "BREF") publié par la Commission Européenne a recensé des exemples de réutilisation des eaux issues du lait et leur usage au contact d'aliments (dernier rinçage NEP et purge à l'eau³) était déjà mentionné (tableau 5).

Tableau 5 : Exemples de réutilisation des eaux issues du lait dans l'industrie laitière (Source : CE (BREF), 2006)

Réutilisation	Condensat	Perméat issu de l'installation d'osmose inverse
Nettoyage de l'extérieur des véhicules	1	1
Nettoyage des caisses	1	1
Nettoyage manuel de l'extérieur des appareils	1	1
Prérinçage NEP	1	1
Alimentation pour nettoyage principal NEP	2	1
Dernier rinçage NEP	2	2
Purge à l'eau ¹ des lignes de produit	2	2

1 : réutilisation directe

2 : réutilisation après traitement évolué, comme la séparation membranaire et/ou la désinfection

Ces exemples prouvent ainsi qu'une réutilisation des eaux issues du lait sur des surfaces en contact direct avec les produits alimentaires est envisageable et est déjà appliquée dans des pays étrangers, à l'aide de technologies de traitement identifiées.

³ Dans le secteur laitier, les purges à l'eau sont également appelées les pousses à l'eau

Enseignements de l'enquête AQUAREL auprès des transformateurs laitiers

En France, les eaux issues du lait sont essentiellement réutilisées pour le prérinçage des process, l'alimentation des chaudières, le lavage extérieur des camions ou des locaux et des opérations de refroidissement.

Sur la trentaine de sites ayant répondu à l'enquête AQUAREL et valorisant leurs eaux issues du lait, 68% réutilisent celles-ci pour des opérations de lavage standard (pré-rinçages, rinçages intermédiaires, préparation des solutions, lavage des sols,...). 58% des sites réutilisent ces eaux dans les chaudières, 26% des sites les réutilisent dans les tours aéro-réfrigérantes tandis que 19% les réutilisent pour le lavage de l'extérieur des camions (figure 3).

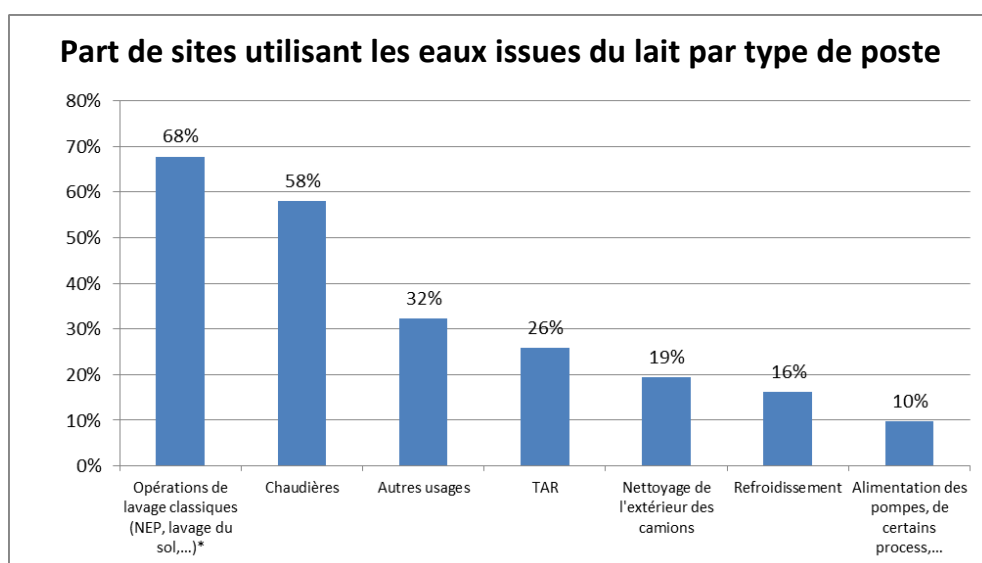


Figure 3 : Part des sites utilisant les eaux issues du lait par type de poste

3. Technologies de traitement associées à la réutilisation

3.1 Exemples de traitements appliqués

Comme cela est précisé dans le paragraphe précédent, les eaux issues du lait peuvent être réutilisées brutes pour certaines opérations de nettoyage. Mais pour une réutilisation de ces eaux au sein de certaines utilités comme les chaudières et sur des surfaces entrant en contact avec les produits alimentaires, des traitements doivent être envisagés. En ce qui concerne cette dernière pratique de réutilisation, ces traitements se révèlent même nécessaires. Ils doivent permettre d'aboutir à la production d'une eau dépourvue de substances dangereuses et de pathogènes afin :

- d'assurer la salubrité des produits finis et
- d'éviter l'accident de production dû à la présence de bactériophages et de composés indésirables pouvant contaminer les chaînes de fabrication et provoquer des anomalies dans la conception d'un produit fromager par exemple.

Dans la plupart des publications et retours d'expérience étudiés, la première opération de traitement des eaux issues du lait mise en place est une séparation membranaire. Deux cas se distinguent :

- pour les eaux réutilisées dans les chaudières, une séparation par nanofiltration ou par osmose inverse peut être envisagée (Chmiel et al., 2000 ; AQUARAMA, 2014)
- pour les eaux réutilisées sur des surfaces en contact avec l'aliment, une séparation par osmose inverse est systématiquement mise en place (AQUARAMA, 2014 ; ASUOE, 2012)

Une séparation par ultrafiltration peut également suffire pour la réutilisation des eaux issues du lait dans certains process où une eau ultrapure n'est pas nécessairement requise (AQUARAMA, 2014).

A la suite de ce premier traitement, et principalement dans le cas d'une réutilisation sur des surfaces en contact avec les aliments, une désinfection des eaux doit être faite. Si ces dernières sont réutilisées instantanément après leur traitement, une désinfection par ultraviolets peut être envisagée (AQUARAMA, 2014). Mais une désinfection au chlore peut également être mise en place et cette solution est systématiquement choisie si les eaux issues du lait sont stockées avant d'être réutilisées.

En conclusion, la réutilisation d'eaux issues du lait au sein de process dans lesquels passent les denrées alimentaires est rendue possible lorsqu'une séparation par **osmose inverse** et une étape de désinfection (**UV et/ou chlore**) sont mises en œuvre au sein de la filière de traitement.

Des exemples de réutilisation et des technologies de traitement associées sont présentés en page suivante (tableau 6).

Tableau 6 : Exemples de réutilisation des eaux issues du lait et de technologies de traitement associées

Pays	Types d'eaux issues du lait	Réutilisation	Technologies appliquées pour la réutilisation	Sources
Angleterre (ancienne usine United Milk Plc)	Condensats des évaporateurs	Eau utilisée dans toute l'industrie en remplacement de l'eau potable	osmose inverse + dioxyde de chlore	ASUOE, 2012
Australie (étude menée sur six usines)	Condensats des évaporateurs	Tous usages pour 1 usine sur 6. Nombre d'usages plus restreint pour les 5 autres usines.	osmose inverse OU désinfection chimique	Baskaran et al., 2003
Belgique (usine FrieslandCampina)	Condensats des évaporateurs	- eau d'appoint pour les chaudières - eau pour l'unité de NEP dont l'eau pour le post-rinçage	biopROtector® ⁴ + ultrafiltration (pour l'eau de process) ET biopROtector® + osmose inverse + désinfection UV (pour l'eau de chaudière et eau de process de qualité élevée)	AQUARAMA, 2014
Etats-Unis (usine Agri-Mark Cabot)	- Perméats d'osmose inverse (sérum) - Condensats des évaporateurs	- rinçage final - nettoyage - dilution des solutions salines	osmose inverse + désinfection UV + acide péracétique ⁵	Atlantium Technologies Ltd, Agri-Mark Cabot
Etats-Unis (usine High Desert Milk)	- Perméats d'osmose inverse (sérum) - Condensats des évaporateurs	- eau pour l'unité de NEP - nettoyage des membranes	osmose inverse + acide péracétique + désinfection UV	Atlantium Technologies Ltd, High Desert Milk
Allemagne (étude menée sur une filière de traitement expérimentale)	Condensats des évaporateurs	- eau d'appoint pour les chaudières	préfiltration + désinfection UV (pour éviter le colmatage des membranes) + nanofiltration (deux étages) + désinfection UV (si pas de stockage) ou chloration (si stockage). Etape facultative.	Chmiel et al., 2000

⁴ Technologie brevetée. Process pour capter les composés qui occasionnent du biofouling sur les membranes situées à l'aval.

⁵ Produit utilisé en tant que désinfectant dans l'industrie alimentaire. Son principal avantage est son effet sporicide (Belloin, 1993).

3.2 Traitements appliqués au sein des sites de transformation français

Les retours des transformateurs laitiers français montrent que le traitement des eaux issues du lait avant réutilisation est, en général, assez rare.

Sur la trentaine de sites ayant répondu à l'enquête AQUAREL et valorisant leurs eaux issues du lait, plus de la moitié (52%) n'appliquent pas de traitement avant leur réutilisation. Moins d'un tiers (29%) désinfectent ces eaux avec des produits chlorés et seulement 6% des sites filtrent ces eaux. Les deux autres techniques de désinfection, UV et ozone, sont respectivement utilisées par 10% et 3% des sites interrogés (figure 4).

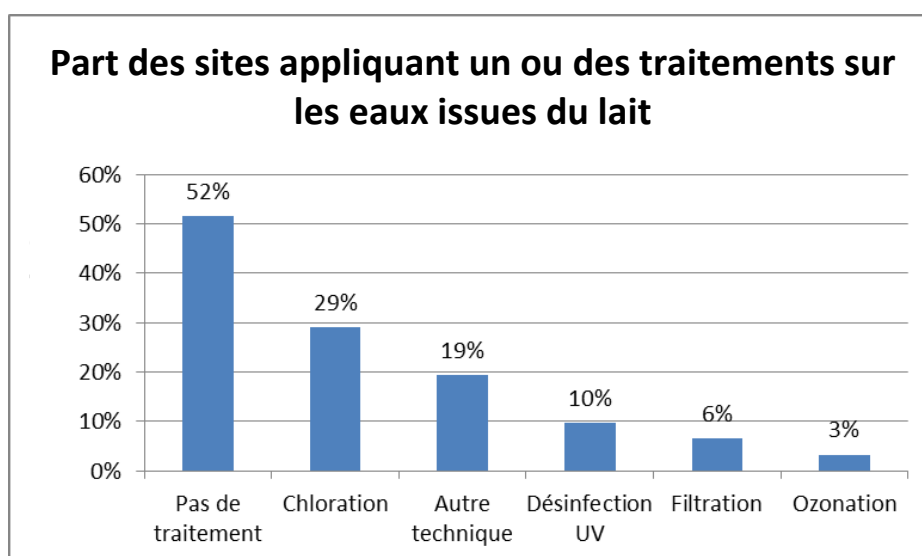


Figure 4 : Part des sites appliquant un ou des traitements sur les eaux issues du lait

L'enquête a également démontré que les traitements appliqués ne sont pas strictement liés à un ou des usages en particulier (tableau 7)

Tableau 7 : Usages des eaux issues du lait et traitements associés (enquête AQUAREL)

		Traitement				
		Chloration	Désinfection UV	Filtration	Autre technique	Pas de traitement
Usages	Opérations de lavage classiques	X	X	X	X	X
	Nettoyage extérieur camions					X
	Tours aéro-réfrigérantes				X	X
	Chaudières	X			X	X
	Refroidissement	X			X	X
	Alimentation des pompes, de certains process	X		X	X	
	Autres	X	X	X	X	X

3.3 Filières de traitement identifiées durant le projet AQUAREL

Les échanges effectués avec divers équipementiers en traitement de l'eau ont permis de mettre en avant deux filières de traitement permettant de valoriser les eaux issues du lait dans des usages où la denrée alimentaire pourrait entrer en contact avec des surfaces nettoyées à l'aide de ces eaux (rinçages finaux, lavage de l'intérieur des camions,...) mais également en eau d'appoint des tours aéro-réfrigérantes.

Les deux filières reposent sur les mêmes opérations unitaires qui sont une filtration suivie d'une désinfection.

Dans tous les cas, il est nécessaire de prévoir un tri des condensats en sortie des équipements de production afin de ne pas diriger vers la filière de traitement choisie les eaux issues du lait les plus chargées en matière organique. Cette opération permettrait ainsi d'éviter l'obtention d'eaux traitées d'une qualité non conforme à celle recherchée en raison d'un traitement médiocre et l'encrassement précoce des technologies mises en jeu. Il est à noter qu'en raison des limites d'utilisation que peuvent présenter les trieurs asservis à la conductivité, certaines sociétés travaillent à concevoir des trieurs asservis directement à la quantité de matière organique présente dans l'eau.

3.3.1 - Filière ultrafiltration + osmose inverse + désinfection

3.3.1.a - Caractéristiques

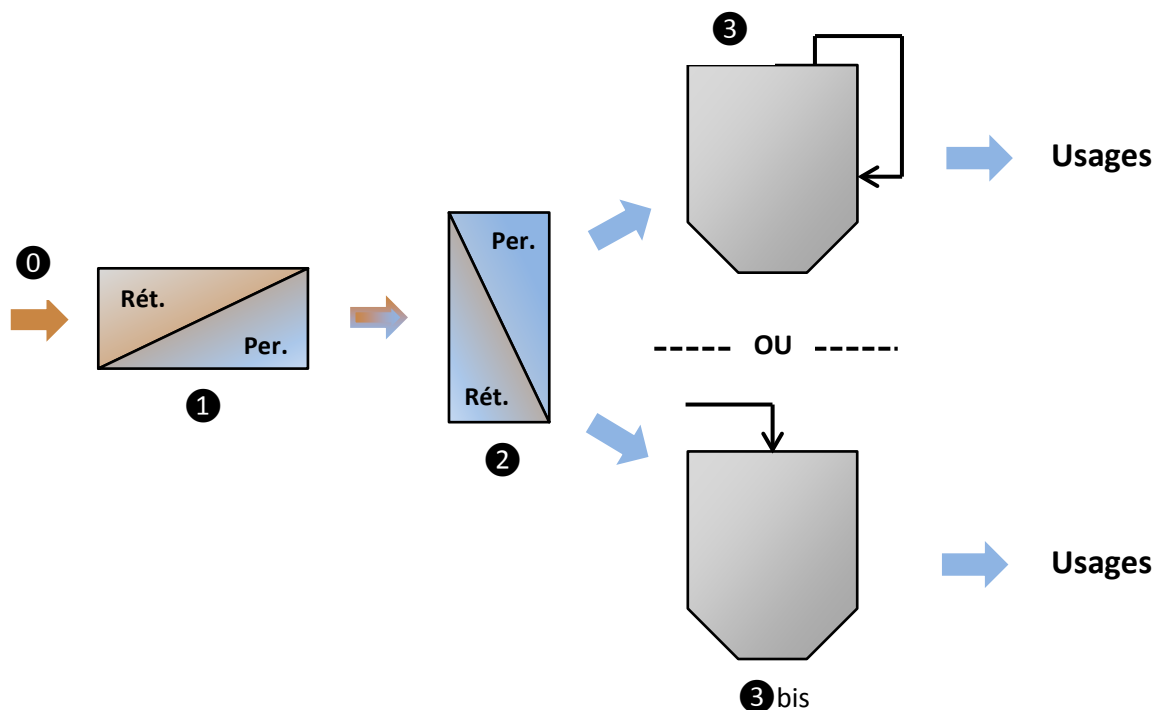
La première filière recommandée est une filière qui est assez proche de celles présentées dans les revues scientifiques et spécialisées et mises en place sur certains sites situés à l'étranger (voir ci-dessus). Cette filière est adaptée au traitement des perméats d'osmose inverse et aux condensats d'évaporation. Elle est composée des étapes suivantes (figure 5) :

- Ultrafiltration
- Osmose inverse ou membrane Dairy polisher
- Désinfection (UV avec boucle de recirculation ou chlore ou ozone)

L'ultrafiltration permet un abattement de la charge microbiologique et élimine les particules les plus importantes qui pourraient causer des dommages au module d'osmose inverse situé en aval. Les membranes utilisées sont des membranes organiques. Le facteur de rétention de la matière organique moyen, en termes de DCO, avoisine les 50%. Enfin, la consommation énergétique de membranes de ce type est estimée entre 0,02 et 0,06 kWh/m³ d'eau traitée.

L'osmose inverse, de par ses propriétés, permet d'éliminer divers solutés dont les chlorites, les chlorates et l'ammonium. Comme pour l'ultrafiltration, les membranes utilisées sont de nature organique. Le facteur de rétention de la matière organique moyen, en termes de DCO, avoisine quant à lui, les 95%. Des membranes d'osmose inverse utilisées pour la production d'eau potable peuvent servir à traiter les eaux issues du lait. Leur facteur de rétention vis-à-vis de certains solutés apparaît faible mais leur lavage s'effectue en moyenne tous les six mois. Des membranes d'osmose inverse type Dairy polisher peuvent également être utilisées. Contrairement aux membranes citées

précédemment, celles-ci ont des facteurs de rétention importants vis-à-vis de la plupart des solutés. En revanche, elles doivent être nettoyées beaucoup plus fréquemment (toutes les semaines). La consommation énergétique d'une opération de filtration par osmose inverse est comprise entre 1 à 2 kWh/m³ d'eau traitée.



① : eau issue du lait à traiter

② : ultrafiltration

③ : osmose inverse ou membrane Dairy polisher

③ : stockage en tank des eaux filtrées et désinfection par UV avec boucle de recirculation interne

③ bis : stockage en tank des eaux filtrées et désinfection par chloration ou injection continue d'ozone

Rét. : rétentat Per. : perméat

Figure 5 : Filière ultrafiltration + osmose inverse + désinfection pour le traitement des eaux issues du lait

A l'issue des procédés de filtration, la désinfection se révèle indispensable pour assurer la qualité hygiénique des eaux à réutiliser.

Deux types de désinfection peuvent être envisagés :

- la désinfection chimique avec l'utilisation de chlore ou d'ozone
- la désinfection physique avec l'utilisation d'UV

La désinfection des eaux au chlore est une technique très répandue du fait de son caractère rémanent (effet désinfectant persistant dans le temps). Mais elle entraîne en règle générale la formation de sous-produits de désinfection et la présence de composés indésirables tels que les chlorites et les chlorates. Trois types de produits chlorés peuvent être utilisés pour la désinfection : la javel, le chlore gazeux et le dioxyde de chlore (tableau 8).

Tableau 8 : Avantages et inconvénients des différents produits chlorés pour la désinfection⁶

Produit	Javel	Chlore gazeux (dichlore)	Dioxyde de chlore
Formule	$NaClO$	Cl_2	ClO_2
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre facile Peu coûteux 	<ul style="list-style-type: none"> Donne au milieu un pH acide ce qui favorise l'action désinfectante du produit Coût de fonctionnement faible car l'installation peut ne pas nécessiter beaucoup d'intervention Présence limitée de chlorates et de chlorites 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de réaction avec les matières organiques et l'ammonium
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Changement de solution à prévoir fréquemment (environ tous les mois) car la javel perd son titre au fur et à mesure Donne au milieu un pH alcalin alors que l'acide hypochloreux (HClO), espèce la plus désinfectante, est performant à un pH acide Décomposition de la javel en chlorites et chlorates 	<ul style="list-style-type: none"> Investissement conséquent 	<ul style="list-style-type: none"> Mise en œuvre sur site car stockage impossible Risque de relargage de chlorites dans l'eau traitée en fonction du rendement du générateur (plus un générateur est performant, moins il y a de risque) Investissement conséquent

Contrairement au chlore, l'ozone est un réactif qui engendre peu de sous-produits de désinfection. Seule la présence d'une quantité trop importante de matière organique et la présence de bromures peut conduire à l'apparition de produits nocifs tels que les bromates. C'est un bactéricide et un virulicide efficace.

⁶ Plus d'éléments sur la chloration en industrie laitière et les bonnes pratiques à suivre sont à retrouver dans l'étude "Chlorates dans l'eau : guide des bonnes pratiques" (CNIEL, 2016).

La désinfection UV présente également l'avantage de ne générer aucun sous-produit de désinfection et contribue à la désactivation d'une grande partie des bactéries et des virus présents dans l'eau.

L'inconvénient de ces deux derniers procédés de désinfection est leur non-rémanence (effet désinfectant non persistant dans le temps). Une fois sortie du réacteur UV, l'eau n'est plus soumise aux rayonnements. Une nouvelle contamination de celle-ci est alors possible si un biofilm est présent dans la canalisation située juste après ce dernier. Le constat est assez similaire en ce qui concerne l'ozone car ce composé a une durée de vie limitée dans l'eau.

De ce fait, il est recommandé de mettre en place pour la désinfection UV, une boucle de recirculation dans le tank de stockage des eaux filtrées afin que celles-ci soient constamment désinfectées avant d'être envoyées dans le circuit. Il convient aussi de s'assurer que ce dernier situé en aval du tank est parfaitement propre afin d'éviter toute nouvelle contamination des eaux. En ce qui concerne la désinfection par ozone, il est recommandé de prévoir une injection continue du composé dans le tank de stockage des eaux filtrées.

Par sécurité, il peut être utile d'ajouter une dose de chlore en parallèle de la technique de désinfection aux UV ou à l'ozone pour éviter tout nouveau développement bactérien et détruire les éventuels biofilms présents dans les canalisations aval.

3.3.1.b - Etude de cas

Dans le but de valoriser ses condensats d'évaporation, une industrie laitière allemande a étudié la possibilité de mettre en place une filière de traitement composée des procédés suivants :

- **Ultrafiltration**
- **Osmose inverse**
- Filtre à charbon actif en grains (pour éliminer les odeurs)

Des tests sur une installation-pilote ont été effectués et un comparatif des qualités d'eau observées avant et après la filière a été dressé (tableau 9). L'investissement dans une telle filière s'est chiffré pour la laiterie à 800 000€.

Tableau 9 : Qualité d'eau en entrée et en sortie de filière

Paramètre	Valeur en entrée d'ultrafiltration	Valeur en entrée d'osmose inverse	Valeur en sortie du filtre à charbon
Turbidité	/	/	< 5 NTU
DCO	20 mg/L	10 mg/L	/
COT	7,5 mg/L	3,7 mg/L	< 2 mg/L

Remarque :

Le prix d'une technologie d'osmose inverse avec une structure de protection en simple PVC peut avoisiner les 100 000€. Le prix d'une technologie d'osmose inverse type Dairy polisher est de l'ordre de 250 000€ à 300 000€.

Complément d'information sur les traitements membranaires :

En règle générale, il reste difficile d'obtenir des informations sur la qualité d'eau obtenue suite au traitement des eaux issues du lait par osmose inverse. Cependant des travaux effectués sur des effluents de laiteries ont permis de mettre en évidence l'efficacité de cette technologie. Dans une étude datée de 2005 (Vourch et al., 2005), différentes configurations de filière ont été testées pour traiter un effluent présentant les caractéristiques suivantes :

- 5,3 g/L de matières sèches,
- 8,2 gO₂/L de DCO,
- 3,1 g/L de COT
- une conductivité de 700 µS/cm

Un traitement par nanofiltration puis par osmose inverse permet d'obtenir un perméat final ayant une concentration en COT de 3,3 mg/L et une conductivité de 9 µS/cm.

Le traitement de ce même effluent par un module d'osmose inverse aboutit à l'obtention d'un perméat ayant une concentration en COT de 3,2 mg/L et une conductivité de 10 µS/cm.

Ces deux configurations sont adéquates pour la production d'une eau réutilisable en eau d'appoint des chaudières et en eau pour des usages où le contact avec les aliments n'existe pas (Vourch et al., 2005).

En revanche, lorsque l'effluent passe à travers deux modules d'osmose inverse placés en série, le perméat obtenu a une conductivité de 3 µS/cm et une concentration en COT de **1,5 mg/L**. Cette valeur **inférieure** à celle qui est donnée dans la **légalisation sur l'eau potable (2 mg/L)**⁷ montre que ce type de technologies permet de produire une eau de très bonne qualité et qu'elle pourrait être susceptible d'être réutilisée au contact d'aliments.

⁷ Voir la synthèse intitulée "*Réglementations sur l'eau utilisée en transformation laitière*"

3.3.2 - Filière filtres à sable et à charbon + désinfection

3.3.2.a - Caractéristiques

La seconde filière recommandée est une filière qui repose également sur des étapes de filtration et de désinfection. Contrairement à la précédente, celle-ci n'est adaptée qu'au traitement des condensats d'évaporation peu chargés. Elle est constituée des traitements suivants (figure 6) :

- Filtre à sable
- Filtre à charbon actif
- Désinfection UV



Figure 6 : Filière filtres à sable et à charbon + désinfection

(Source : BWT)

Le filtre à sable constitue une étape de filtration grossière et permet de protéger le filtre à charbon situé en aval d'un colmatage trop rapide. Ce filtre retient en particulier les matières en suspension et permet ainsi d'abaisser la turbidité des eaux.

Le filtre contenant du charbon actif sous forme de grains permet l'adsorption des matières dissoutes. Son principal rôle est d'abaisser la charge en matière organique des eaux issues du lait.

La désinfection UV sert, quant à elle, à assurer la qualité hygiénique des eaux filtrées. Une boucle de recirculation est mise en place comme dans le cas de la filière précédente de manière à assurer une désinfection continue.

3.3.2.b - Qualité de l'eau en sortie de filière en fonction de la qualité de l'eau en entrée

Comme toute filière de traitement, la filière présentée dans ce paragraphe permet d'obtenir des qualités d'eau traitée qui sont fonction des qualités d'eau en entrée (tableau 10).

Tableau 10 : Qualité de l'eau traitée en fonction de la qualité d'eau brute (Source : BWT)

Paramètre	<u>Si</u> valeur en entrée	<u>Alors</u> valeur en sortie
Turbidité	5 NFU maximum	< 2 NFU
Matières en suspension	10 mg/L maximum	< 2 mg/L
DCO	60 mg/L en moyenne avec des pointes à 100 mg/L	< 10 mg/L
COT	25 mg/L maximum	< 4 mg/L

De plus, les concentrations en ammonium et en chlorures en sortie de traitement doivent être respectivement de 0,5 mg/L maximum et 50 mg/L maximum afin d'éviter tout problème de consommation de javel dans le premier cas et l'encrassement des chaudières dans le second cas.

Il convient de constater que la charge en COT en sortie du filtre à charbon est encore au-delà de la référence de qualité pour l'eau potable. **La mise en place d'un trieur de condensats en amont de la filière de traitement est à envisager si l'on souhaite passer en dessous la limite des 2 mg/L.** Il est également possible de prévoir un échangeur thermique en tête de filière pour abaisser la température des condensats à 20°C.

Important : si la charge en matière organique et/ou en ammonium et chlorures est trop importante dans les eaux à traiter, il est préférable d'envisager une filière de traitement basée sur les technologies membranaires.

3.3.2.c - Fonctionnement et entretien

Lors du dimensionnement, le temps de fonctionnement de l'installation est fixé à 20 heures sur 24 de manière à prendre en compte les périodes d'arrêt du système pour des opérations de nettoyage. Un lavage de 30 minutes doit être effectué au niveau de chaque filtre une fois par semaine. Ce lavage s'effectue par un détassage à l'air et à l'eau (de l'eau issue du lait traitée peut être utilisée pour cette opération). Une désinfection à la vapeur (105°C) du filtre à charbon actif, d'une durée de quatre heures, doit également être prévue. Sa fréquence d'occurrence est dépendante de la charge bactérienne observée en sortie du filtre. Une désinfection doit être déclenchée lorsque celle-ci dépasse la valeur fixée pour l'eau traitée.

3.3.2.d - Etude de cas

Dans le but de valoriser ses condensats d'évaporation (plus de 300 000 m³/an), une usine laitière (fromages et poudres) française a étudié trois principaux scénarii (scénarii 1, 2 et 3) de réutilisation et comparé les investissements nécessaires pour chacun d'eux. Un quatrième scénario proche du premier a également été étudié (tableau 11). Il est important de noter que ces scénarii ont été établis en prenant en compte seulement deux types d'eau qui sont l'eau de ville traitée et les condensats d'évaporation traités. Les autres ressources présentes sur site (eau de forage et eau de ville non traitée) ont été volontairement écartées de l'étude mais restent néanmoins utilisées.

Tableau 11 : Scénarii étudiés par l'industrie

Scénarii	Utilisation sur site		Débit de traitement des filières	Usages des eaux traitées
	Condensats d'évaporation traités	Eau de ville traitée		
Scénario 1	100% (réutilisation totale)	0%	40 m ³ /h	NEP, groupes froids, homogénéisateurs, pompes à vide, chaudières
Scénario 1bis	100% (réutilisation totale)	NC	Condensats : 40 m ³ /h Eau de ville : NC	<u>Condensats</u> : NEP, groupes froids, homogénéisateurs, pompes à vide, chaudières <u>Eau de ville</u> : rinçage final des lignes après une étape de rinçage par les condensats traités
Scénario 2	50%	50%	Condensats : 15 m ³ /h	Groupes froids, homogénéisateurs, pompes à vide, chaudières
			Eau de ville : 55 m ³ /h	NEP
Scénario 3	0%	100%	55 m ³ /h	NEP, groupes froids, homogénéisateurs, pompes à vide

Dans les scénarii 1, 1bis et 2, la filière de traitement des condensats d'évaporation est similaire à celle présentée à la page 14.

Dans les scénarii 2 et 3, la filière de traitement de l'eau de ville est notamment composée d'une filtration 100µm et d'une étape de dénitrification. Des adoucisseurs sont également prévus pour un usage de l'eau en chaufferie.

En ce qui concerne les investissements, les informations sont présentées de deux manières :

- Dans le premier cas, seuls les coûts des filières de traitement, des matériels annexes et du raccordement hydraulique et électrique des installations sont pris en compte (tableau 12)
- Dans le second cas, le coût d'achat de cuves de stockage nettoyables est également pris en compte (tableau 13)

Le prix de la prestation de service proposée par l'équipementier n'est, en revanche, pas comptabilisée car elle reste négligeable par rapport aux enveloppes globales.

Tableau 12 : Investissements sans achat de cuves de stockage

	Scénarii 1 et 1bis	Scénario 2	Scénario 3
Investissements (HT)	370 000 €	510 000€	280 000€

Tableau 13 : Investissements avec achat de cuves de stockage

	Scénario 1	Scénario 1bis	Scénario 2	Scénario 3
Investissements (HT)	560 000 €	520 000€	640 000€	310 000€

Conclusion

Issues des étapes de concentration et d'évapo-concentration du lait, les eaux issues du lait constituent une importante source d'eau pour les sites laitiers. Peu chargées en matières organiques, elles sont réutilisées pour le lavage des locaux, des camions ou pour le prérinçage des process dans la grande majorité des usines de transformation. Mais le nombre d'usages reste limité par rapport au volume d'eaux issues du lait produit sur les sites. De ce fait, une partie de cette ressource alternative n'est encore pas valorisée.

Pour réduire leur dépendance aux sources d'eau couramment rencontrées (eau potable issue du réseau, eau de nappe ou de surface traitée), certains sites de transformation laitière étrangers ont opté pour des technologies de traitement de ces eaux afin d'en réutiliser le plus possible et ce, dans des opérations de nettoyage plus variées notamment pour le rinçage final des lignes de production.

Pour cela, les technologies proposées reposent sur deux principes : la filtration et la désinfection. Ainsi, la première étape des filières de traitement rencontrées dans les retours d'expérience documentés consiste à séparer les composés indésirables de l'eau à l'aide de technologies membranaires telles que la nanofiltration ou l'osmose inverse tandis que la seconde étape consiste à désinfecter le perméat obtenu à l'aide de chlore ou d'ultraviolets.

L'enquête menée auprès des équipementiers en traitement de l'eau dans le cadre d'AQUAREL a permis de constater que les filières reposant sur ces technologies membranaires et notamment sur l'ultrafiltration et l'osmose inverse suivies d'une étape de désinfection étaient préconisées pour réutiliser les eaux issues du lait. Une autre filière a également été mise en avant : la filière filtres à sable et à charbon suivis d'une désinfection. Plusieurs solutions existent donc pour traiter et valoriser sur site ces eaux. Le choix entre ces différentes filières est alors principalement dépendant de l'usage final des eaux et de la qualité de celles-ci avant traitement.

Bibliographie

Rapports et documents scientifiques :

ALLIANCE STRATEGIQUE POUR UNE UTILISATION OPTIMALE DE L'EAU (ASUOE), (2012). *Etude sur l'utilisation optimale de l'eau dans l'industrie agroalimentaire*. ASUOE – CTAC, 118p.

BELLOIN, J.-C., (1993). *L'hygiène dans l'industrie alimentaire. Les produits et l'application de l'hygiène*. Etude FAO : Production et santé animales – Cahier technique 117. Rome : FAO.

[Consulté sur Internet le 2 juin 2015, à l'adresse suivante :

<http://www.fao.org/docrep/004/T0587F/T0587F00.htm#TOC>]

BASKARAN, K., PALMOWSKI, L.M., WATSON, B.M., (2003). *Wastewater reuse and treatment options for the dairy industry*. Water Science and Technology : Water Supply, volume 3, n°3. IWA Publishing, 85-91

CHMIEL, H., MAVROV, V., BELIERES, E., (2000). *Reuse of vapour condensate from milk processing using nanofiltration*. Filtration + Separation, volume 3, n°37. Oxford : Elsevier Ltd, 24-27

DAUFIN, G., ESCUDIER, J.-P., CARRERE, H., BEROT, S., FILLAUDEAU, L., DECLoux, M., (2001). *Recent and emerging applications of membrane processes in the food and dairy industry*. Trans IChemE, volume 79, part C. Elsevier, 89-102

DECLoux, M., REMOND, B., (2009). *Evaporation – Agencement des évaporateurs et applications*. Techniques de l'Ingénieur, F 3004. Paris : Techniques de l'Ingénieur, 19p.

GESAN-GUIZIOU, G., (2007). *Filtration membranaire (OI, UF, NF, MFT) – Applications en agroalimentaire*. Techniques de l'Ingénieur, J 2795. Paris : Techniques de l'Ingénieur, 17p.

SLOTH, P., REGNIER, J., VIEILLE, J., (1990). *Evaporation et séchage du lait*. In : LUQUET, F.M. *Laits et produits laitiers. Concentration – Brebis – Chèvre*. Tome 2 : *Les produits laitiers - transformation et technologies*. Paris : Technique et Documentation – Lavoisier, 17-33

SOTTIEZ, P., (1990). *Produits dérivés des fabrications fromagères*. In : LUQUET, F.M. *Laits et produits laitiers. Concentration – Brebis – Chèvre*. Tome 2 : *Les produits laitiers - transformation et technologies*. Paris : Technique et Documentation – Lavoisier, 357-392

VOURCH, M., BALANNEC, B., CHAUFER, B., DORANGE, G., (2008). *Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse*. Desalination n°219. Issues 1-3. Amsterdam : Elsevier B.V., 190-202

VOURCH, M., BALANNEC, B., CHAUFER, B., DORANGE, G., (2005). *Nanofiltration and reverse osmosis of model process waters from the dairy industry to produce water for reuse*. Desalination 172. Issue 3. Amsterdam : Elsevier B.V., 245-256



WOJDALSKI, J., DROZDIZ, B., PIECHOCKI, J., GAWORSKI, M., ZANDER, Z., MARJANOWSKI, J., (2013). *Determinants of water consumption in the dairy industry*. Polish Journal of Chemical Technology, volume 15, n°2. Szczecin : De Gruyter, 61-72

Articles de presse :

FRAISSE, H., (1991). La concentration. *Revue des ENIL* n°154, 17-28

FrieslandCampina Aalter met la barre plus haut pour affronter l'avenir. *AQUARAMA*, (2014), n°65, 68-69

[Consultable sur Internet, à l'adresse suivante : <http://issuu.com/aquaramamagazine/docs/aq65fr>]

Fiches techniques :

ATLANTIUM TECHNOLOGIES LTD. *Case study: AgriMark-Cabot, Vermont, USA. Cow Water Reuse – Pasteurized Equivalent Water*. Atlantium Technologies Ltd. 2p.

ATLANTIUM TECHNOLOGIES LTD. *Case study: High Desert Milk, Idaho, USA. Cow Water Reuse – Pasteurized Equivalent Water*. Atlantium Technologies Ltd. 2p.

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE (SPW), (2008). *Economies d'énergie dans l'industrie alimentaire. Les récupérations de chaleur dans le process*. Cahier technique n°7, 16p.

Document européen :

COMMISSION EUROPEENNE (CE), (2006). *Document de référence sur les meilleures techniques disponibles. Industries agro-alimentaires et laitières*. Bruxelles : Commission Européenne, 679p.

Autre référence utile :

CNIEL, (2016). *Etude "Chlorates dans l'eau : guide des bonnes pratiques"*.